

II-259 流砂量に及ぼす砂粒の比重効果について

関西電力総合技術研究所 正員 大森 力
新日本技術コンサルタント 正員 陳 治雄
大阪産業大学 工学部 正員 重光世洋

1. はしがき

水理模型実験の縮尺は、一般に出来るだけ大きい方が望ましいが実験スペースの制約から小さくせざるを得ないことが多く、そのために、相似則に無理の生じる場合がある。移動床実験の場合も、現地、の砂粒径が比較的小さい場合に、模型では、粒径と比重とを調整して相似の条件を満足させる方法が試みられているが、その際、実験結果を実物に換算・適用する場合には、再現性の評価に十分な注意が必要と考えられる。このような見地から、著者らは、移動床相似則の問題をとり上げ、先に2次元基礎実験を行って、砂粒の比重が抵抗則や流砂量に及ぼす効果について検討し、比重 ρ_s が小さい方が相対的に河床面の抵抗係数 f_b が小さくなること、流砂量は同一の無次元掃流力に対し、 ρ_s の小さい方が全抵抗係数と流砂量 ϕ_A との積は大きくなる等の結果を得た。しかし、 ϕ_A に及ぼす比重の効果は明らかでなかったため、ここでは、流砂量について従来の流砂量公式との比較を行って、若干の検討を加えた。

2. 無次元量および流砂量公式

次元解析によれば、2次元の等流の土砂と水の二相運動に対し、次の4つの無次元量が得られる。

$$X = U_* d / \nu, \quad Y = \rho U_*^2 / g d, \quad Z = R / d, \quad W = \rho_s / \rho \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 $U_* = \sqrt{g R I}$ 、 g ：重力加速度、 R ：径深、 I ：水路勾配又はエネルギー勾配、 ν ：水の動粘性係数、 ρ および ρ_s ：それぞれ水および砂粒の密度、 d ：砂粒の粒径。(1)式において、 W が砂粒の密度の効果をあらわし、砂粒の運動が一樣ならば、 ρ_s は特性パラメーターにならないが、一般に跳躍や浮遊運動は一樣でない。したがって、 W は慣性力の効果の特徴づけする無次元量と考えられる。

つぎに、流砂量公式については、種々あるが、ここでは、以下の比較に主として用いた芦田・道上式を示す。

$$\phi_A = 17 (\alpha Y)^{3/2} (1 - Y_c / Y) [1 - (Y_c / Y)^{1/2}] \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $\phi_A = g_b / \sqrt{g d^3}$ 、 g_b ：単位時間・単位幅当りの流砂量(容積)、 $S = (\rho_s / \rho - 1)$ 、 α は有初掃流力と掃流力との比值であって $\alpha = Y_c / Y$ 、 Y_c ：無次元限界掃流力。

3. 実験方法

実験は、幅15および30cmの2次元可傾水路(長さ10m)を用いて行ったが、実験に用いた砂は比較的均一で、その粒度および比重特性は、図-1に示す通りである。また、実験の水理的条件は次のようである。

流量 q (cm³/s/cm) = 60 ~ 220、水深 h (cm) = 1.3 ~ 8.2、フルド数 $Fr = 0.3 \sim 1.5$ 、 $X = 9.0 \sim 57.0$ 、 $Y = 0.01 \sim 0.38$ 。なお、以下の検討では、粒径は全て d_{65} を用いた。

流砂量の測定は、一定の流量・給砂量を連続的に与え、河床が安定平衡状態になるのを見届けたのち水路末端にて数回捕砂量を計量し、その平均をもって流砂量とした。水理量は、この間に同時測定したものを使用した。

4. 実験結果と検討考察

実験データは、芦田らの河床形態領域区分に従うと、大部分 Upper Regime の領域に属し、以下二の領域のものを対象としたが、ここでは、中規模河床形態の分類と形成条件に対する村本らの区分表示に従って図示すると、図-2のようである。砂川の形状特性を測定していないため

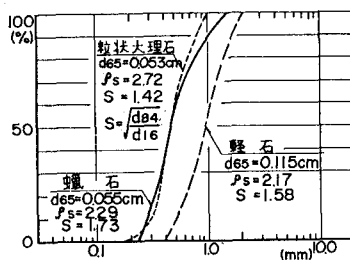


図-1 実験砂の粒径分布

村本らの与えた定量的基準との照合は出来ないが、実験値は、少し交互砂州を含むが大半は準砂州および短対南州 ($B/h \leq 10$) のものをあらわしている。 $B/h \leq 10$ の場合、実験水路では側壁の影響が現われて、そうした形態が現われ易いと考えられ、事実実験において目視観察された。しかし、砂粒の比重の違いによる形態変化は、村本らの指摘と一致してほとんどなかった。

つぎに、流砂量の測定値と(2)式で $\alpha=1$ および Y_c として岩垣の式による値を用いるものとし、また Y に実験値を用いた計算値とを比較すると図-3 のようである。測定の精度、粒径の違い等の要因も考えられるため評価はむづかしいが、傾向としては、実験の範囲内で比重が軽い場合は $\alpha=1$ 、普通砂の場合は $\alpha < 1$ とみれば実験値と計算値とは、比較的よく合致することがみうけられる。これより、有効掃流力の的確な評価が問題となるが、これには、図-2 のような砂州の形態・形状特性と水理量とを関連づけた抵抗則の検討が必要であろう。

図-4 は、各種流砂量公式による計算値と実験値とを比較したものである。各計算値は、 $\alpha=1$ 、 $Y_c=0.047$ として算定しているが、(2)式の場合だけ $Y < 0.15$ の領域の実験値に対する平均の $Y_c \approx 0.025$ に対して算定した結果を示した。また、図中の実験値は Y_{alin} の表示 $\Sigma = X^2/Y$ によっても分類されている。

この結果によると、比重の効果は、単独には評価し難いが、限界掃流力 Y_c に影響するので、流砂量公式を適用する場合に、 Y_c を適切に考慮することがとくに掃流力の小さい領域において重要であることを示している。

5. あとがき

かなり限られたデータではあるが、比重が自然砂にくらべて軽いと、相対的に有効掃流力が大きいこと、限界掃流力に導属すること、これらを適切に評価すれば Upper Regime の領域に対し、従来の流砂量公式 (たとえ(2)式) の適用性は高いこと等がわかった。また、課題として、有効掃流力を砂州の平面形状特性と水理量とを関係づけて的確に推定することが上げられる。今后は、種々の河床形態の広範囲の実験データの取得を精度向上を心掛けて実施していきたい。なお、実験計測には、関西電力 白方邦博氏、資料整理には新田本技術 C 松本隆司氏の協力を得たことを付記する。

昭和57年度関西電力年報。

参考文献 長澤 隆幸：抵抗則から流砂量に於ける底質の比重効果について

芦田和男・道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、土木学会論文報告集 206号、1972。村本嘉雄・藤田

祐一郎：中規模河床形態の分類と形成条件、22回水理講演会 論文集、1978。M.S.Yalin: Mechanics of Sediment Transport。

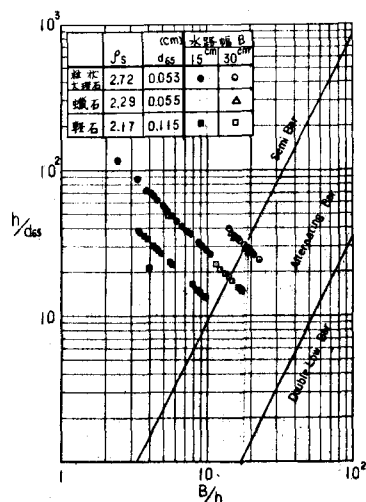


図-2 実験河床の形態区分

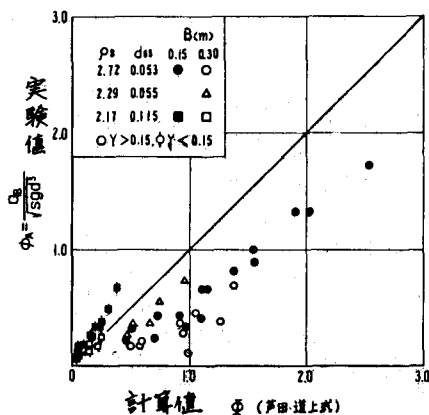


図-3 流砂量の実験値と計算値との比較

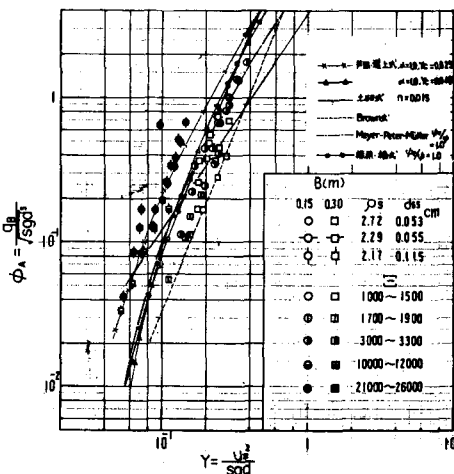


図-4 実験値と流砂量公式との比較